

Montažni spoj veze ugla lameliranih drvnih okvira

A JOINING DETAIL OF CORNER CONNECTION OF GLULAM PORTAL FRAMES

Prof. dr Zvonimir Žagar
Fakultet građevinskih znanosti Zagreb

UDK 630*832.286

Prispjelo: 28. XII. 1987.
Prihvaćeno: 18. IV. 1988.

Izvorni znanstveni rad

Sažetak

Razmatra se način spajanja elemenata drvenog lameliranog grednog nosača ili prečke okvira sa stupom. Predlaže se pogodnije rješenje od kružnog spoja i zupčastog nastavka. Rješenje je primijenjeno, ali misu prilikom izvedbe uzeti u obzir potrebni parametri za studiju ponašanja takvog eksperimentalnog spoja. FEM spoj je u razmatranju-simulaciji.

Summary

Shown is a new type of joining detail of the beams and columns in the three (or two) hinged glulam portal frames. This method of joining is a more convenient way than that in circle distributed dowell system used today.

UVOD

U projektiranju i izvođenju objekata s drvenom lameliranom konstrukcijom važno područje predstavljaju spojevi, posebno montažni spojevi. O njihovom rješenju i kvaliteti izvedbe ovisi stabilnost konstrukcije objekta. Iz tih razloga posebno je interesantno analizirati ispravnost teorijsko-praktičnih rješenja čvornih spojeva prečke i stupa lameliranih drvenih okvirnih nosača.

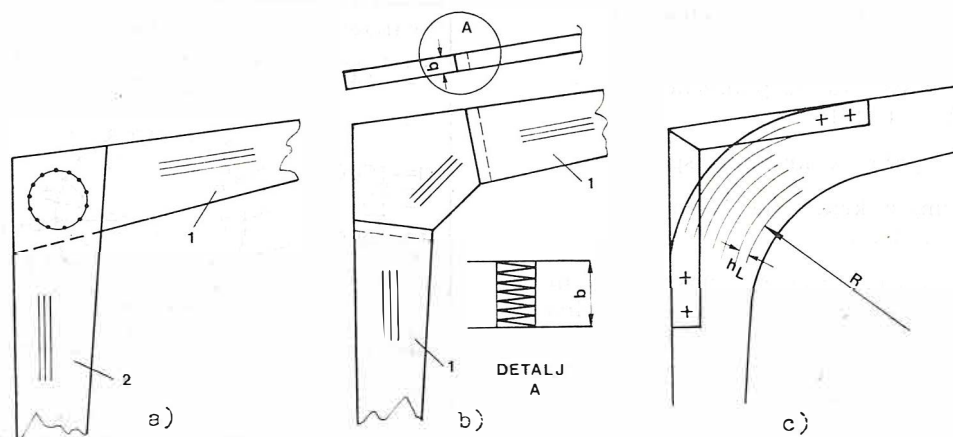
Istraživanjima su utvrđene negativne strane dosadašnjih praktičnih načina izvođenja čvornih spojeva, pa je iz tih razloga interesantan svaki novi prilog boljem rješavanju ove problematike.

Prijedlog jednog takvog rješenja izvedbe je teoretski i eksperimentalno analiziran i provjeren u ovom radu.

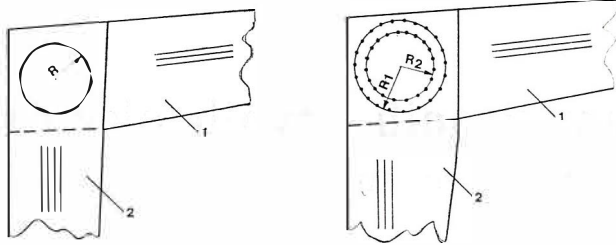
1. VRSTE SPOJEVA UGLA LAMELIRANIH DRVENIH OKVIRA NOSAČA IZMEĐU PREČKE OKVIRA I STUPA

Postoji nekoliko načina da se montažni spoj ugla lameliranih drvenih okvirnih nosača između prečke okvira i stupa riješi. To su: kružni spoj trnovima, zupčasti spoj i veza bez montažnog spoja (savijanjem lamela). (sl. 1)

Kod nas se uglavnom primjenjuje samo način veze s trnovima koji su uglavnom kružno raspoređeni (po jednom ili rjeđe dva kruga) u čvoru. Obično je prečka jednodjelna i stup dvodjelan (sl. 2).



Slika 1 — Načini spajanja grede i stupa okvira



Slika 2 - Uobičajeni kružni spoj trnovima (1 - jednodjelno, 2 - dvodjelno)

2. PRIKAZ PRORAČUNA KRUŽNOG SPOJA UGLA TRNOVIMA UPOTREBOM ELEKTRONIČKOG KOMPJUTORSKOG SISTEMA

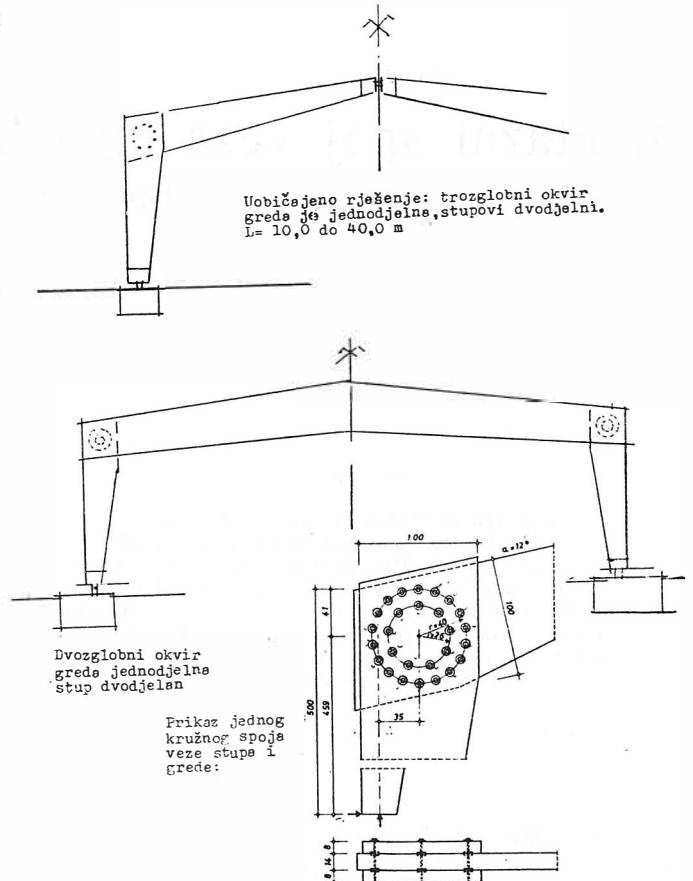
S obzirom da se u takvom spoju moraju preuzeti rezne sile T, N, M u tom čvoru, postupak je jednoznačno određen [2].

Maksimalna sila u jednom spajanju je (sl. 4):

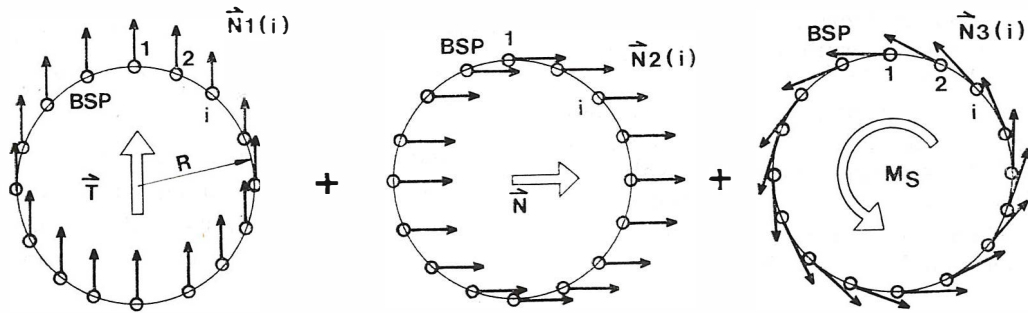
$$NJMAX = NJM + SQR (NJN \uparrow 2 = NJT \uparrow 2) = NJDOP$$

NJM — sila u spajalu od momenta:
 $NJM = M / (R \times BSP)$

NJN — sila u spajalu od uzdužne sile N:
 $NJN = N / BSP$



Slika 3 - Uobičajena rješenja spoja grede i stupa drvenog okvira



Slika 4 - Proračun kružnog spoja trnovima

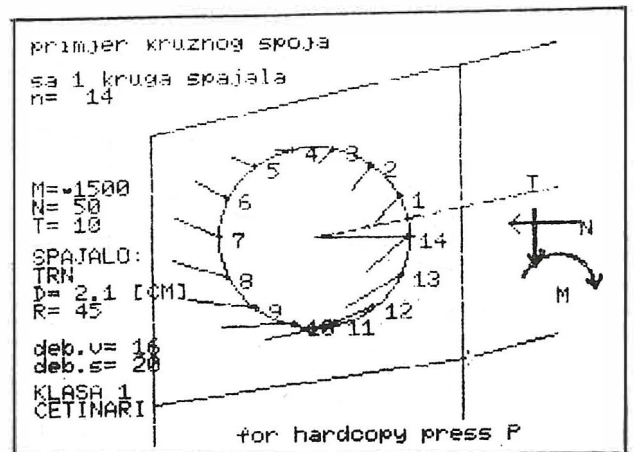
NJT — sila u spajalu od poprečne sile T:
 $NJT = T / BSP$

BSP — broj spajala u kružnom spoju

R — polumjer kruga po kojem su spajala raspoređena

NJDOP je najveća dopuštena nosivost jednog spojnog sredstva u slučaju kad je sila paralelna s vlakancima. To međutim nije slučaj, pa je mjerodavna NJDOP koja je približno okomita na smjer vlakanca. Redukcija nosivosti spajala je prema standardu:

(1 - ALF/360).



Slika 5 - Snimka ekrana (hardcopy). Proračun kružnog spoja trnovima programom za računalo SVI

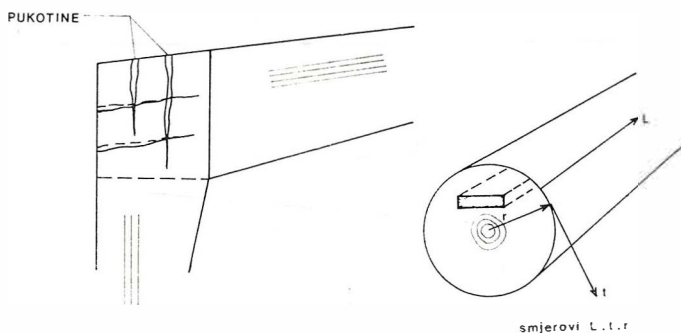
Načinjen je i jedan program (u MBasicu za SVI 328) s kojim se te sile u trnovima mogu i vizualizirati i izračunati (sl. 5).

3. DOSADAŠNJI NAČIN IZVOĐENJA ČVORNIH SPOJEVA NA OKVIRNIM DRVENIM NOSAČIMA DRVNOINDUSTRIJSKIH I GRAĐEVINSKIH OBJEKATA

Općenito je problematično i neracionalno izvesti takav spoj na gradilištu (a i u radionici). Stoga se nastoji takav spoj izbjeći ako je to ikako moguće, pa izvesti zakrivljenje lamela u uglu, a vanjski dojam »blindirati« (sl. 1 c). To opet ima za posljedicu lameliranje nosača s tanjim lamelama, kako bi se zadovoljio odnos zakrivljenja i debljine lamela. Izvedba zupčastog spoja »in situ« kod nas nije uobičajena, jer treba prvo nabaviti ili izraditi pogodan stroj za zupčanje dugih (debelih) zubaca.

Iskustva u lijepljenju pokazala su se nedovoljnim za lijepljenje cijelih ploha. Također postoji opasnost kasnijeg raslojavanja i pucanja lamela u smjeru vlakancu, pogotovo od usušavanja drva. Takav spoj puca i na taj način više nema kompaktne torzijske plohe među prečkom i stupom.

Do ove pojave dolazi zbog različitog utezanja (bubrenja) drva (sl. 6.) u smjeru vlakancu i po-

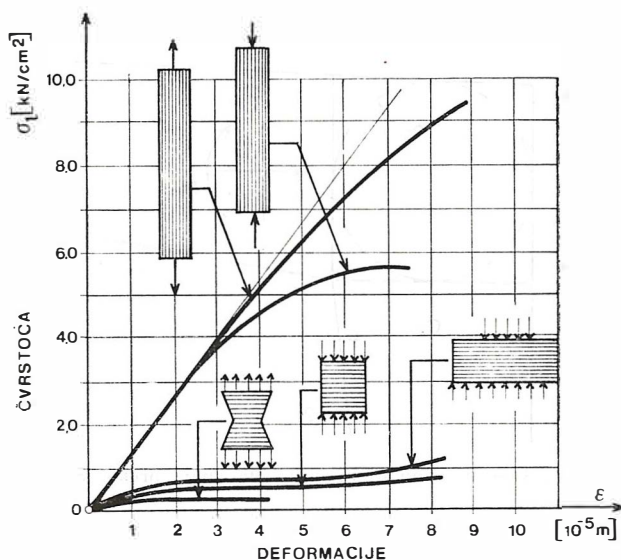


Slika 6 — a) Pukotine u lijepljenoj plohi
b) Shematski prikaz jedne daske: L — uzdužni smjer, t — tangencijalni smjer, r — radijalni smjer

prijeko na vlakanca, koja iznose za promjene vlažnosti od točke zasićenosti vlakancu do 0⁹/₁₀:

- u smjeru vlakancu 0,1 do 0,35⁹/₁₀
- u radijalnom pravcu 2 do 6,5⁹/₁₀
- u tangencijalnom smjeru 4 do 12⁹/₁₀.

Naponi zbog promjene vlažnosti mogu biti takve razine da uzrokuju raskoljavanje drva (pukotine duž vlakancu). Tome je uzrok anizotropija drva (čvrstoća na vlak paralelno s vlakancima je mnogostruko veća od iste čvrstoće drva okomito na vlakanca, sl. 7.).



Slika 7 — Čvrstoće drva, ovisne o smjeru vlakancu i načinu naprezanja.

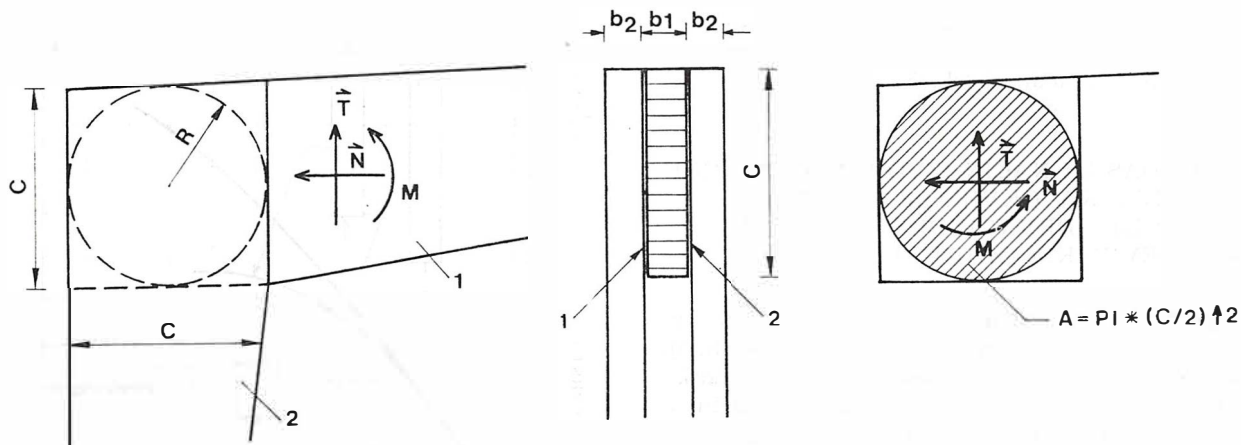
4. OBRADA POSTUPAKA IZVOĐENJA ČVORNIH SPOJEVA S PRORAČUNOM DRVENIH LAMELIRANIH OKVIRA UZ UPOTREBU FOLIJE TKANINE OD STAKLENIH VLAKANACA, NATOPLJENIH EPOKSIDNIM LJEPILOM

Iskustva u lijepljenju čeličnih dijelova (izoliranih šinskih sastava rađeni još 1964/65 u Mosnoj radionici ŽTP-a Zagreb i dinamički ispitivanih u Institutu Strojarskog fakulteta u Zagrebu istih godina) pokazala su da se lijepljenje čelika može ostvariti umetanjem folije — tkanine od staklenih vlakana, natopljenih epoksidnim ljepilom. Ta folija, osim potrebnih izolacijskih svojstava (što je kod izoliranog šinskog sastava bilo potrebno), ima i svrhu zapunjenja neravnosti velikih lijepljenih površina. Ta tkanina djeluje i kao upijač epoksida, koji se pod pritiskom pritežnih vijaka istiskuje iz spoja i dobro zapunjava sve neravnosti i netočnosti velikih lijepljenih površina. Također su svojstva tkanine od staklenih vlakana superiorna u pogledu čvrstoće materijala. Taj se princip može primijeniti u »in situ« lijepljenju uglovnih spojeva prečke i stupa okvirnih drvenih lameliranih konstrukcija.

Folija tkanine od staklenih vlakancu natopljena epoksidnim ljepilom umeće se u razmak između grede i stupa i ima dvovrsnu funkciju:

1. održava sloj epoksida na mjestu (kao upijač)
2. pod pritiskom spojnih vijaka iznivela sve neravnosti i vitoperosti velikih ploha spoja (koje se pomno moraju izbrusiti)

Zbog velike čvrstoće epoksidnog ljepila, ona se mogu miješati u određenom omjeru s odgovarajućim punilima. Pri lijepljenju se moraju poduzeti zaštitne mjere. Što se tiče same provjere



Slika 8 — Preuzimanje reznih sila spoja preko armiranog filma ljeplila (1 i 2). Polazne pretpostavke proračuna spoja.

naponskog stanja u filmu ljeplila, ona je relativno jednostavna (sl. 8).

Tablica I,

Ako se lijepljena ploha predstavi kvadratom (što je obično slučaj), unutar tog kvadrata može se upisati krug polumjera $R = C/2$

Naponi:

— od rezne sile T:

$$TAU_{JT} = T / (2 * C \uparrow 2)$$

— od rezne sile N:

$$TAU_{JN} = N / (2 * C \uparrow 2)$$

— od momenta savijanja M (ovdje momenta torzije filma ljeplila):

$$TAU_{JM} = M / (PI * R \uparrow 3)$$

Stoga je:

$$TAU_{JSUM} = \text{SQR} (TAU_{JT} \uparrow 2 + TAU_{JN} \uparrow 2 + TAU_{JM} \uparrow 2) = (\text{SQR} (T \uparrow 2 + N \uparrow 2)) / (2 * C \uparrow 2) + M / (PI * C \uparrow 3)$$

$$TAU_{JSUM} < = TAU_{JPARD}$$

što je »malo prestrog« kriterij, ali je na strani sigurnosti.

Ako je ploha paralelogram (sl. 9.), može se pisati:

$$TAU_{JSUM} = \text{SQR} ((T / (2 * HJO * HJS)) \uparrow 2 + (N / (2 * HJO * HJS)) \uparrow 2 + M / (2 * KJ2 * (HJS) \uparrow 2 * (HJO) \uparrow 2))$$

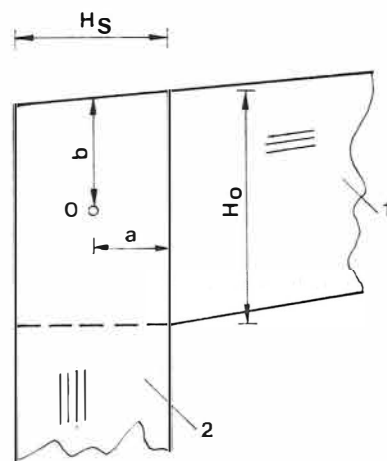
gdje je

$$HJS < HJO$$

KJ2 ovisi o odnosu HJO/HJS prema tablici I.

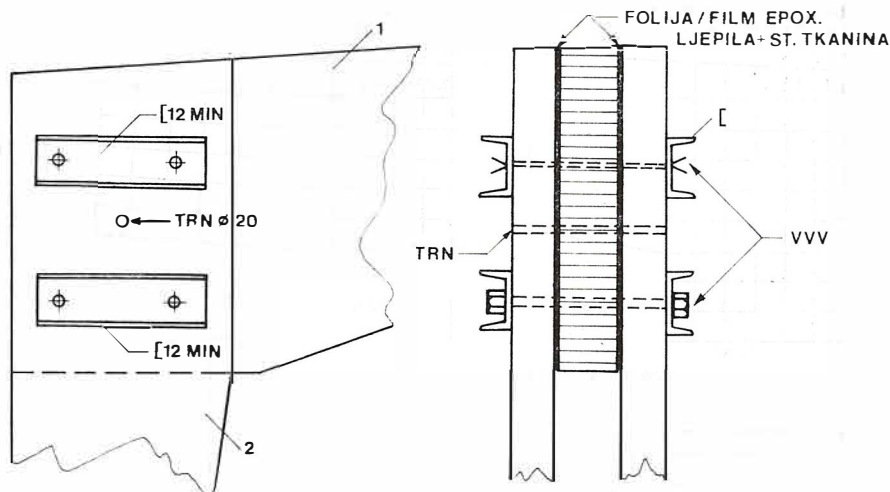
TAU_{JSUM} mora biti manji ili jednak TAU_{JPARD}, kao što je navedeno.

odnos HJO/HJS	koef. KJ2
1	.208
1.2	.219
1.5	.231
2	.246



Slika 9 — Korekcijski faktori

Ovim se postupak spajanja spoja bitno pojednostavljuje. Međutim, ovakav spoj potrebno je trajno stisnuti stegama. Za to su pogodna 4 vijka od visokovnijednog čelika koja silu na lijepljenu plohu prenose preko dva (s obje strane, dakle četiri) U-profila (sl. 10). Time se osigurava pritisak na veću površinu, a sprečava ujedanje glave i



Slika 10 — Predloženi način lijepljenja uglovnog spoja prečke i stupa drvenih lameliranih okvira

matice vijka (unatoč podl. pločama) u drvo stupa. S četiri visokovrijedna čelična vijka može se proizvesti dostatna sila stezanja spoja za vrijeme lijepljenja.

Postupak je slijedeći:

1. U tvornici se plohe izbruse. Izbuše se četiri »oveće« rupe znatno većeg promjera od promjera vijka, te jedna rupa za trn točno u sredini spoja. Trn je Φ 20 mm. To je tzv. reperna točka.

2. Na gradilištu se izreže (ili je već izrezana) folija tkaninne od staklenih vlakana. Folija se obostrano premaže epoksidnim ljepilom.

3. Spoj (plohe koje će se lijepiti treba pomno otprašiti i očistiti) podrazumijeva da su propisane vlažnosti manje od 12%.

4. Natopljene se folije umetnu u spoj. Spoj se centrira trnom Φ 20 mm.

5. Spoj se priteže s 2×2 [čel. profila, kako je to na sl. 10. prikazano.

Koriste se visokovrijedni čelični vijci.*

Za informaciju navode se čvrstoće filma epoksidnih ljepila prema ASTM. Vidljivo je da je ta čvrstoća znatno veća od one koja nam je potrebna (tab. II).

5. INTERPRETACIJA PRETHODNOG IZLAGANJA PRIMJENOM MODELA

U okviru istraživanja unapređenja drvenih konstrukcija sastavljen je proračunski model (sl. 11.) iz konačnih elemenata (2D FEM), gdje se testira sloj drva (stupa), sloj filma ljepila i sloj drva grede. S obzirom da se kod drva radi o izrazitoj anizo-

Toblica II.

Tip	broj uzoraka	srednje TAU vrijednosti		stano. devij. psi
		psi	N/mm ²	
sirovo drvo:				
-paralel. s vlakancima	100	1.312	9,22	422
-okomito na vlakanca	7	572	4,02	103
30 godina staro:				
-paralelno s vlakancima	7	1.025	7,21	289
-okomito na vlakanca	8	681	4,79	82

tropiji, model je složen, a podaci o anizotropnim svojstvima drva i ljepila uzeti su iz literature (tablica II). U isto vrijeme se na Fakultetu građevinskih znanosti u Splitu vode istraživanja elastičnih i elastoplastičnih svojstava filma ljepila (ing. Nižetić, dr Marović). No ta su istraživanja još u početnoj fazi.

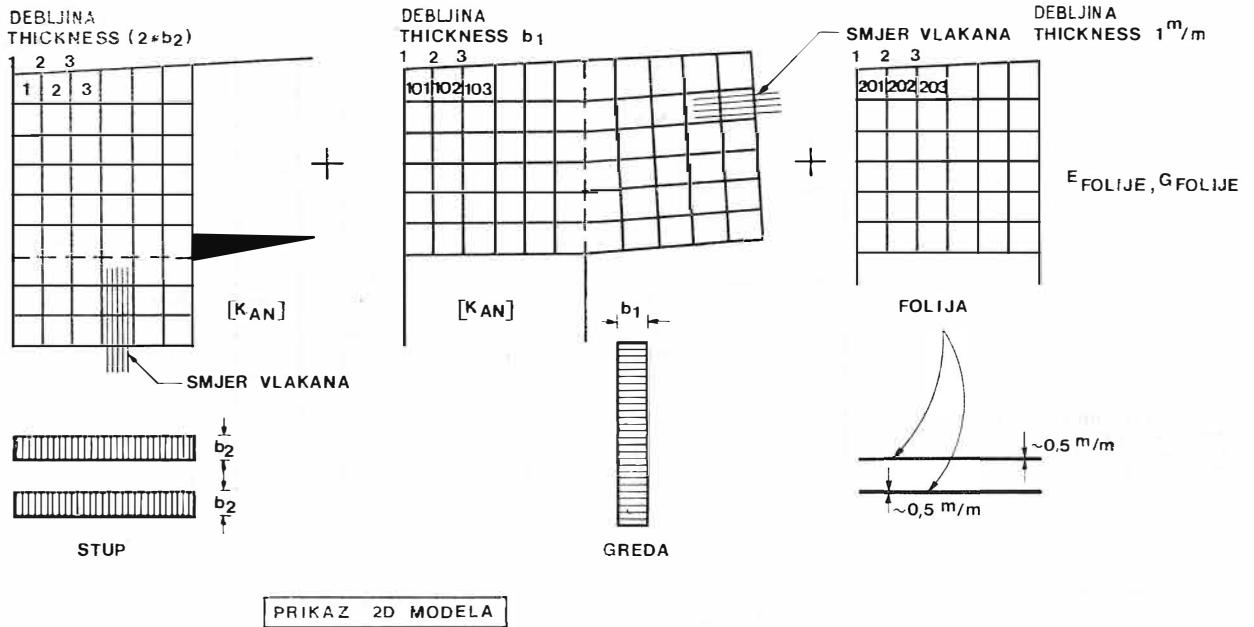
U modeliranju primijenjen je ICES STRUDL i biblioteka anizotropnih 2D elemenata. Smjerovi svojstava materijala KE ovise o lokalnom koordinatnom sustavu xy, koji opet ovisi o nalogu spajanja čvorova elemenata. To se postiže s ELEMENT INCIDENCES nalogom, tako da se oblikuje element m opisom i. j. k, l imena čvorova (sl. 12), tj. s nalogom/matricom m, i, j, k, l, gdje je x lokalna os elementa određena sa spojnicom ij.

Za proračun svojstava (prema DIN 1052, i Kaylwerthu i Cladu) može se pisati matrica elastičnosti kao:

a) za hrast sa »stojećim godovima«

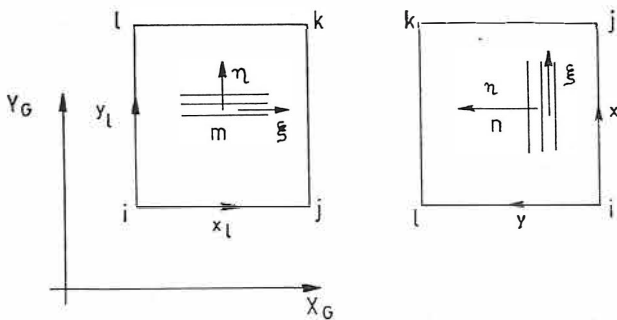
$$[E] = \begin{bmatrix} 13476. & 692. & 0. \\ 692. & 1589. & 0. \\ 0. & 0. & 725. \end{bmatrix} \quad [N/mm^2]$$

* Ovakav spoj izveden je na drvenoj lameliranoj okvirnoj konstrukciji farme ovaca u Despotovcu, koju je izveo DIP GAJ prema našim uputama. Nažalost nisu umetnute reperne točke za promatranje i mjere za praćenje ponašanja spoja tijekom vremena. Ako se pokažu pukotine, one se mogu injektirati epoksidnom žbukom na uobičajeni način sanacije pukotina u drvu.



PRIKAZ 2D MODELA

Slika 11 — Model (KE) za ispitivanje ponašanja lijepljenog spoja pri utjecaju anizotropije drva grede i stupa. Model je dvodimenzionalan.



Slika 12 — Modeliranje anizotropije u modelu KE (za proračun i analizu sa sustavom ICES STRUDL).

Svojstva filma ljepila uzeta su kao:
 d (THICKNESS) = 0.2 [mm] i izotropna svojstva sa:

$$E = 3360. \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad G = 1200. \text{ [N/mm}^2\text{]}.$$

Model je prikazan na slici 11.

Također se vrše istraživanja na 3D modelu konačnih elemenata, gdje se film ljepila prikazuje s 2D konačnim elementima, a vijci od čelika sa štapastim (SPACE FRAME) elementima. U tome je modelu uzeta (u nedostatku drugih podataka), iz literature za ortotropni materijal, prostorna matrica elastičnosti sa:

$$[E] = \begin{bmatrix} 13350. & 1200. & 1340. & 0. & 0. & 0. \\ 1200. & 1230. & 820. & 0. & 0. & 0. \\ 1340. & 820. & 1870. & 0. & 0. & 0. \\ 0. & 0. & 0. & 1000. & 0. & 0. \\ 0. & 0. & 0. & 0. & 1000. & 0. \\ 0. & 0. & 0. & 0. & 0. & 300. \end{bmatrix} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

b) za jelu sa »stojećim godovima«

$$[E] = \begin{bmatrix} 11235. & 211. & 0. \\ 211. & 299. & 0. \\ 0. & 0. & 513. \end{bmatrix} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

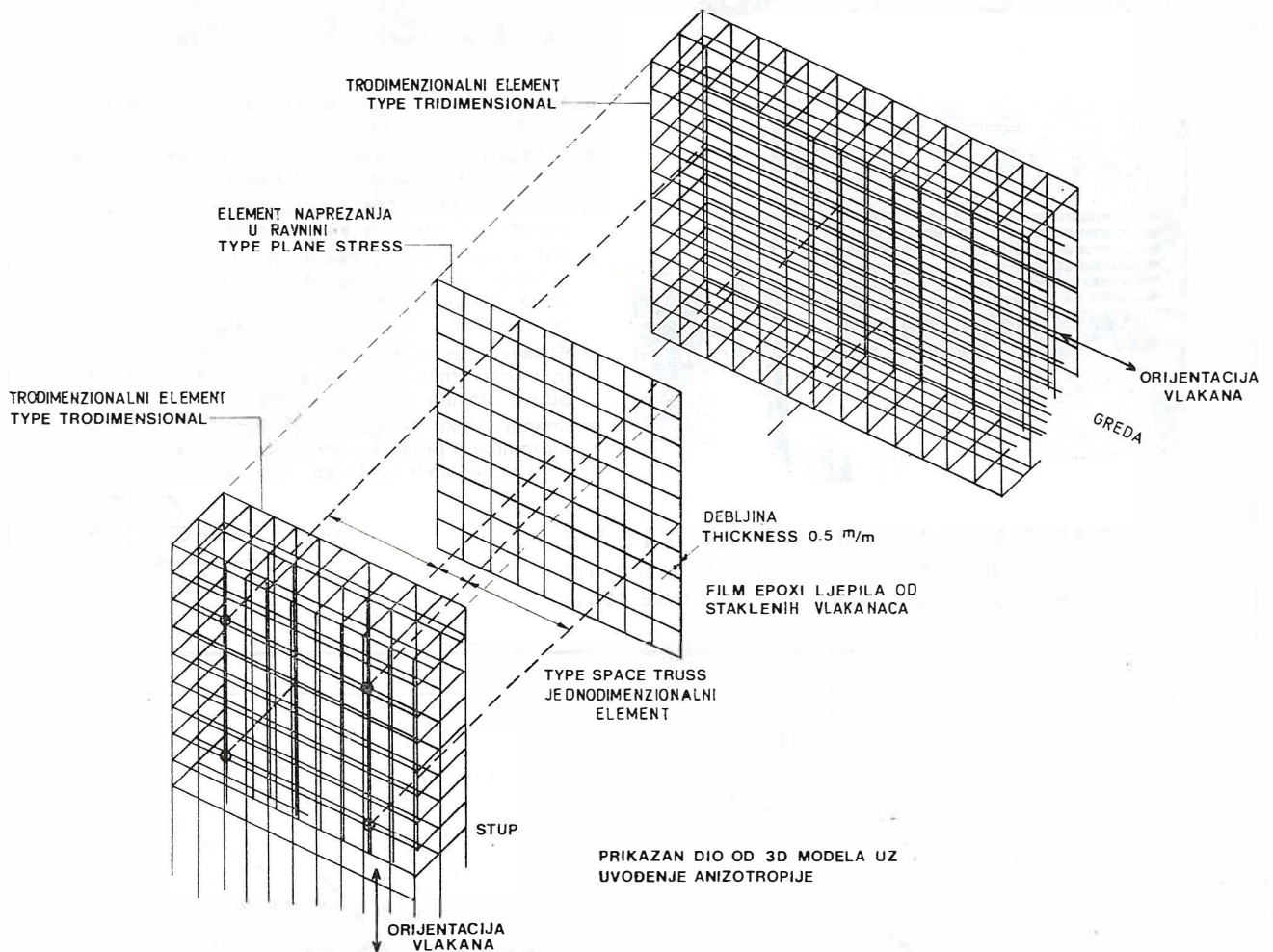
c) za jelu i »ležeće godove«

$$[E] = \begin{bmatrix} 11235. & 292. & 0. \\ 291. & 522. & 0. \\ 0. & 0. & 416. \end{bmatrix} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

dok je sloj rezorcinskog ljepila uzet kao 2D element sa svojstvima: debljina $d = 0,2$ mm, i konstantama izotropije $E = 3360. \text{ [N/mm}^2\text{]}$, $G = 1200. \text{ [N/mm}^2\text{]}$. Primijenjeni su elementi PSQ1 i (ili) IPLQ za 2D model, dok su za 3D model primijenjeni »brick« elementi (TRIDIMENSIONAL) iz biblioteke KE ICES STRUDLa (sl. 13).

Promjene vlažnosti drva simuliraju se promjenama temperature u raznim smjerovima, preko naloga TEMPERATURE CHANGES. Opisani modeli još su u istraživačkoj fazi, te će se rezultati ovih istraživanja objaviti naknadno.

Sličan model iz KE primijenjen je u opsežnim analizama ponašanja unakrsno lameliranog drve-



Slika 13 — 3D model KE lijepljenog uglovnog spoja grede i stupa lameliranog drvenog okvira.

nog praga (ULDP), koji je patentiran. U tom tro-slojnom (za drvo) modelu praga, primijenjena je anizotropija drva s navedenim podacima (iz literature), zatim dvodimenzionalni model (1 sloj) cjelokupnog šinskog pribora i šine, sve razmatrano na elastičnoj podlozi.

Ovo se napominje jer opisani model lijepljenog spoja nije izvan današnjih dosegâ analiza, uključujući i anizotropna svojstva drva (odnosno anizotropije slojeva konačnih elemenata po slojevima modela KE).

ZAKLJUČAK

Dosadašnji način spajanja ugla lameliranih drvenih okvirnih nosača u fazama građenja drvoindustrijskih i građevnih objekata, podvrgnut teorijsko-praktičnom istraživanju, rezultirao je nepovoljnim utjecajnim parametrima u izvođenju uobičajenog kružnog spoja ugla nosača trnovima.

U četvrtom poglavlju rada izneseni su rezultati istraživanja, gdje se obrazlaže i predlaže rješenje spoja ugla upotrebom folije tkanine od staklenih vlakana natopljenih epoksidnim ljepilom, što je, ne samo teorijski nego i praktički, uspješno primijenjeno u izvođenju objekta farma u Despo-

tovcu. Taj objekt izveo je DIP GAJ s primjenom proračuna i postupaka obrađenih autorovim radom.

U petom poglavlju izlaganja obuhvaćena su istraživanja i izrade modela s proračunima koji su u vezi s tematikom lijepljenog uglovnog spoja grede i stupa lameliranog drvenog okvira nosača kao upozorenje da rad na toj problematici nije završen, nego ga treba nastaviti i proširiti.

LITERATURA

- [1] Avent, R. R.: Factor Affecting Strength of Epoxy-Repaired Timber, Struct. Eng. Journal 1986, 207—221.
- [2] Epple, A.: Untersuchungen über Einflüsse auf die Spannungsverteilung in aufgeleimten Holzlaschen und Holzernen Kontenplatten, Dissertation, Univ. Hamburg, 1983.
- [3] Gojković, M.: Drvne konstrukcije (2. izdanje)
- [4] ***: JUS (za drvene konstrukcije), SZS, Bgd, 1983.
- [5] ***: ICES STRUDL 2 (UNIVAC) User Manual, MIT Press/SPERRY UNIVAC, Rand Corporation, 1978, 1983.
- [6] Livaković, Z.: Automatski dizajn drvenih lameliranih dvozgljernih okvira (diplomski rad), FGZ Zagreb, 1987.
- [7] Žagar, Z.: Kompiutorsko proračunavanje konstrukcija sa ICES STRUDL 2, I, II, III i IV dio, FGZ Zagreb (DGITZ) 1986.
- [8] Žagar, Z.: Neki trendovi razvoja drvenih konstrukcija. Seminar Drvene konstrukcije danas, DGKH, Brijuni, 1987 (29—70).

Recenzenti: prof. dr. N. Lovrić
mr S. Petrović